

CH 550 022



CONFÉDÉRATION SUISSE
BUREAU FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(51) Int. Cl.: B 01 j 2/04



(19) CH EXPOSÉ D'INVENTION (11) 550 022

R

- (21) Numéro de la demande: 2206/73
(61) Additionnel à:
(62) Demande scindée de:
(22) Date de dépôt: 15. 2. 1973, 16 ½ h
(33) (32) (31) Priorité:

- Brevet délivré le 30. 4. 1974
(45) Exposé d'invention publié le 14. 6. 1974

- (54) Titre: **Procédé de granulation d'un produit et installation pour la mise en œuvre de ce procédé**

- (73) Titulaire: Battelle Memorial Institute, Carouge-Genève

- (74) Mandataire: Milorad Vomic, Carouge-Genève

- (72) Inventeur: Bernard Chaleat, Saint-Julien-en-Genevois, Jean Mira, Acacias/Genève (Suisse), et Jacques Tissot, Archamps (France)

L'invention a trait à un procédé de granulation d'un produit, préalablement mis sous forme liquide, consistant à créer, à partir de ce liquide et dans un milieu propre à en provoquer la solidification, un jet à écoulement laminaire et de section circulaire, à fractionner le jet en un chapelet de gouttelettes et à récolter les sphérules résultant de la solidification des gouttelettes.

Il est connu de granuler une substance, préalablement rendue fluide par dissolution ou par fusion, en recourant à l'instabilité qui affecte tout jet liquide et qui oblige ce jet à se fractionner en un chapelet de gouttelettes. Ces gouttelettes, après une période transitoire au cours de laquelle elles passent par diverses formes, se stabilisent et deviennent, sous l'effet de la tension interfaciale liquide-milieu ambiant, des sphères quasi parfaites. En confinant au milieu ambiant la propriété de solidifier le liquide, que ce soit en permettant au solvant de s'évaporer (dans le cas d'une solution), ou que ce soit en permettant au liquide de se refroidir (dans le cas d'une substance fondue), on obtient des granules solides, de forme parfaitement sphérique.

Or, l'instabilité naturelle d'un jet est causée par des perturbations locales d'écoulement, dont l'origine se trouve soit à la naissance du jet, par exemple du fait d'une irrégularité de forme de l'ajutage dont sort ce jet, du fait d'une vibration de cet ajutage ou du fait d'une irrégularité de la pression à laquelle est soumis le liquide d'où provient le jet, soit dans le jet lui-même, par exemple à la suite de fluctuations de pression du milieu ambiant dans lequel le jet s'écoule. Ces phénomènes étant aléatoires, la dimension des gouttelettes est très irrégulière. Il en résulte que pour se rendre maître de l'instabilité du jet, en particulier pour imposer à cette instabilité une périodicité bien déterminée et obtenir des gouttelettes de dimensions uniformes, il faut agir positivement soit sur l'origine du jet, soit sur le jet lui-même. Cette action est exercée soit en appliquant des vibrations forcées à l'ajutage (vibrations mécaniques) ou au liquide dont provient le jet (vibrations acoustiques en milieu liquide), soit en appliquant des vibrations forcées au milieu ambiant qui entoure le jet (vibrations acoustiques en milieu gazeux). On peut ainsi régler la longueur des tronçons en lesquels le jet se scinde et, par conséquent, assurer la régularité de la dimension des gouttelettes en lesquelles ces tronçons se muent.

Le présent procédé repose sur la constatation qu'une électrode, par exemple une plaque, située à proximité d'un jet de liquide et reliée à une source de tension, exerce sur le jet un effet mécanique qui se traduit par une déviation de ce jet. Cela est dû à l'asymétrie de la position d'une telle électrode par rapport au jet. On constate en outre que si la tension de la source est une tension alternative, la grandeur de la déviation varie périodiquement. Si l'on recourt à une disposition symétrique, par exemple en donnant à l'électrode la forme d'une pièce de révolution, telle qu'un anneau circulaire, bien centrée sur l'axe du jet, on n'observe plus une déviation, mais un amincissement du jet: on en déduit que l'électrode produit une accélération de ce dernier. Si la source qui alimente cette électrode annulaire a une tension qui varie périodiquement, par exemple une tension alternative sinusoïdale, on constate que le jet subit une variation périodique de section, variation périodique qui s'amplifie rapidement le long du jet, au-delà de l'électrode, et finit par provoquer le fractionnement de ce jet. En d'autres termes, le passage du jet à travers l'électrode annulaire provoque, lorsque cette électrode est alimentée par une source à tension alternative, un déplacement du point où le jet se fractionne: ce point de fractionnement se rapproche de l'origine du jet, lequel se raccourcit.

Ce phénomène de fractionnement dit «forcé» entre dans le cadre de la théorie que Rayleigh a établie au sujet des effets produits par des vibrations mécaniques périodiques appliquées à des jets de liquide. Dans son ouvrage classique, intitulé «Theory of Sound», Rayleigh a montré que l'amplitude des perturbations de forme, notamment des variations de diamètre, que le jet subit sous l'effet de ces vibrations croît selon une loi exponentielle en

fonction de la distance le long du jet, de sorte que ces perturbations produisent très rapidement le fractionnement. Rayleigh a montré, de plus, que ce phénomène était le plus prononcé lorsque la fréquence des vibrations avait une valeur telle que la longueur d'onde, mesurée le long du jet, des perturbations qu'elles produisent était égale à 4,5 fois le diamètre du jet.

Le phénomène décrit plus haut permet donc de se rendre maître du fractionnement d'un jet, et constitue la base d'un procédé électrique de granulation qui élimine les inconvénients inhérents aux procédés connus: du fait qu'il permet d'amincir un jet par une action purement électrique qui ne perturbe pas le caractère laminaire de l'écoulement de ce jet, il permet de descendre très bas dans la dimension des granules obtenus tout en maintenant très faible la dispersion de leur granulométrie et, du fait qu'il agit par voie électrique, il est silencieux.

On a constaté, en outre, que pour assurer une granulométrie peu dispersée des sphérules, il convenait d'éviter que les gouttelettes résultant du fractionnement se rencontrent avant qu'elles soient solidifiées. Ce risque de rencontre en vol existe surtout quand, pour des raisons d'économie de place, on ne recourt pas à un jet vertical descendant. En effet, pour offrir aux gouttelettes le plus long chemin de solidification dans l'enceinte la plus compacte possible, il convient de leur faire décrire une trajectoire balistique, de forme parabolique, avec une inclinaison initiale proche de 45°. Or, du fait de la dispersion inhérente à tout mouvement balistique, certaines gouttelettes décriront une trajectoire située au-dessous de la trajectoire type à inclinaison de 45° et d'autres décriront une trajectoire située au-dessus de cette trajectoire type. Or on sait que, du fait de la résistance de l'air, les trajectoires balistiques ne sont pas rigoureusement paraboliques; de plus, celles qui sont situées au-dessus de la trajectoire type sont des trajectoires «plongeantes» qui croisent les trajectoires «tendues» qui sont situées au-dessous de celle-ci. Pour éviter des heurts entre gouttelettes, il convient donc de supprimer ces croisements, en obligeant les trajectoires à s'écarter l'une de l'autre dans le sens horizontal. Le procédé proposé réalise cet écartement en recourant à nouveau à une action électrique sur les gouttelettes en lieu et place d'une action mécanique sur l'ajutage, action mécanique qui perturberait le fractionnement du jet et affecterait la granulométrie des sphérules.

Le procédé qui constitue l'invention combine donc plusieurs actions électriques pour transformer un jet d'un produit liquéfié en un ensemble de sphérules du produit solidifié. Ce procédé est caractérisé par le fait que l'on amincit le jet en le soumettant à l'action d'un premier champ électrique invariable possédant une composante dirigée selon l'axe du jet, que l'on provoque le fractionnement forcé du jet en le chapelet de gouttelettes en le soumettant à l'action d'un deuxième champ électrique variant périodiquement et possédant une composante dirigée selon l'axe du jet, que l'on charge électriquement chacune des gouttelettes, et que l'on soumet les gouttelettes chargées à l'action d'un troisième champ électrique exerçant sur chacune d'elles une force horizontale la faisant dévier perpendiculairement à sa trajectoire initiale, cette force variant d'une gouttelette à la suivante, de manière à empêcher les gouttelettes de se rencontrer en vol.

Une installation pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention, qui comprend un ajutage de section droite circulaire délivrant le produit liquéfié sous la forme d'un jet au sein duquel le liquide est animé d'un écoulement laminaire, le jet jaillissant dans un milieu propre à créer la solidification du liquide, est caractérisée par le fait qu'elle comprend, à la suite les uns des autres et en aval de l'ajutage, une première paire d'électrodes connectées aux deux pôles, respectivement, d'une première source de tension, ces électrodes ayant une forme annulaire et étant disposées coaxialement au jet, et la première source ayant une différence de potentiel constante de manière que la première paire d'électrodes engendre un champ électrique axial continu produisant un amincissement du jet; une deuxième paire d'électrodes connectées aux

deux pôles, respectivement, d'une deuxième source de tension, ces électrodes ayant une forme annulaire et étant disposées coaxialement au jet, en aval de la première paire, et la deuxième source de tension ayant une différence de potentiel qui varie périodiquement de manière que la deuxième paire d'électrodes engendre un champ électrique axial périodique produisant un fractionnement du jet aminci en un chapelet de gouttelettes; un moyen de charge conférant à chacune de ces gouttelettes une charge électrique; et un moyen de déflexion électrique comprenant au moins une électrode et une troisième source électrique dont l'un des pôles est relié à cette électrode, cette électrode étant située à proximité de la trajectoire des gouttelettes, dans une position telle que le champ électrique qu'elle engendre exerce sur chacune des gouttelettes une force horizontale perpendiculaire à cette trajectoire, ce moyen de déflexion étant agencé de manière que cette force varie d'une gouttelette à la suivante.

La description qui va suivre se rapporte au procédé ainsi qu'à un exemple d'installation. Elle est illustrée par le dessin annexé, dans lequel:

La fig. 1 représente schématiquement l'installation.

Les fig. 2, 3 et 4 se rapportent à des variantes.

Le procédé proposé consiste donc à créer le jet soumis au fractionnement forcé en partant d'un jet délivré par un ajutage de diamètre suffisant pour garantir un écoulement laminaire, et amincir ce jet en lui appliquant un champ électrique axial fixe et invariable dans le temps. L'action du champ a pour effet d'accélérer le jet, donc selon la loi de continuité hydrodynamique de l'amincir. Cet «étrépage» du jet étant purement électrique, il n'en résulte pas de perturbation de l'écoulement, lequel reste laminaire. Ce ne serait pas le cas si l'on voulait créer le jet mince à l'aide d'un ajutage très fin, étant donné les irrégularités d'usinage qui, dans un ajutage très fin, deviennent importantes par rapport au diamètre et qui, de ce fait, rendent l'écoulement instable.

On provoque ensuite le fractionnement du jet aminci, ce qui est réalisé en soumettant ce dernier à un champ électrique axial alternatif, lequel exerce sur lui une action perturbatrice périodique qui cause son fractionnement forcé. La longueur des tronçons auxquels conduit ce fractionnement forcé est imposée par la fréquence de l'action perturbatrice, donc du champ alternatif, contrairement au fractionnement naturel qui est aléatoire. Ce fractionnement forcé assure une parfaite régularité du diamètre des gouttelettes en lesquelles se transforment ces tronçons sous l'effet des forces superficielles, par conséquent une parfaite régularité de la dimension des sphérules résultant de la solidification de ces gouttelettes.

Enfin pour imposer la séparation des trajectoires dans le sens horizontal, en vue d'éviter que les gouttelettes se heurtent en vol, ces dernières sont chargées électriquement puis déviées de leur trajectoire naturelle par l'action d'un nouveau champ électrique exerçant sur elles une force horizontale qui diffère d'une gouttelette à la suivante de manière à empêcher ces gouttelettes de se rencontrer en vol. La charge des gouttelettes est assurée soit par influence électrique provoquée par le champ de fractionnement, dans le cas où le liquide est conducteur et où le champ de fractionnement s'étend jusqu'au point où prend naissance le chapelet de gouttelettes, soit en ionisant une partie du milieu que traversent les gouttelettes, dans le cas où le liquide est isolant. Enfin, la force déviatrice variable est exercée soit par un champ déflecteur alternatif, immobile, soit par un champ d'amplitude constante qui se déplace périodiquement par rapport à la trajectoire des gouttelettes.

L'installation représentée schématiquement à la fig. 1 comprend un ajutage 1 qui est alimenté, par une canalisation non représentée, en un liquide 2 constitué par le produit à granuler, produit qui a été liquéfié au préalable par un moyen quelconque, tel que fusion ou dissolution. De cet ajutage 1, qui est connecté à la masse, sort un jet 3 de ce liquide. En aval de l'ajutage 1 est disposée une paire d'électrodes annulaires 4 et 5, centrées sur l'axe

du jet 3. Ces électrodes sont reliées aux deux pôles d'une source électrique 6, dont la différence de potentiel est constante. Ces électrodes donnent naissance à un champ électrique statique qui, du fait de la symétrie des électrodes, possède une composante axiale invariable représentée par la flèche 7. Ce champ électrique statique produit un amincissement du jet 3 dont le diamètre passe de la valeur d_1 , déterminée par l'ajutage 1 à une valeur inférieure d_2 . En aval de cette première paire d'électrodes se trouve une seconde paire d'électrodes annulaires 8 et 9, elles aussi centrées sur l'axe du jet aminci 10. Ces électrodes sont reliées aux deux pôles d'une source électrique 11, dont la différence de potentiel varie périodiquement. Ces électrodes donnent naissance à un champ électrique variable qui, du fait de la symétrie des électrodes, possède une composante axiale variable représentée par la double flèche 12. Ce champ électrique variable produit sur le jet 10 une succession de boursofflures 13 dont l'ampleur augmente le long du jet jusqu'au moment où chacune d'elles se sépare du jet, phénomène qui apparaît en un point 14. Dès ce moment, le jet est fractionné et il se transforme en un chapelet de gouttelettes 15 qui prennent très rapidement, sous l'effet des forces superficielles, une forme parfaitement sphérique. Au droit du point 14 où le jet se fractionne, se trouve une électrode annulaire auxiliaire 16 qui est reliée à l'un des pôles, par exemple le pôle positif, d'une source électrique auxiliaire 17, à différence de potentiel constante, l'autre pôle, en l'occurrence le pôle négatif, de cette source étant relié à la masse. Le liquide 2 étant supposé conducteur, il en résulte que l'électrode 16 confère aux gouttelettes 15, par effet de l'influence électrostatique, une charge électrique. Dans le cas particulier représenté, cette charge est négative. En aval du moyen de charge que constitue l'ensemble de l'électrode 16 et de la source 17 se trouve une troisième paire d'électrodes 18 et 19. Ces électrodes ont, de préférence, une forme plane et elles sont situées de part et d'autre de la trajectoire moyenne 20 du chapelet de gouttelettes 15, sur une horizontale 21 perpendiculaire à cette trajectoire moyenne. Elles sont reliées aux deux pôles d'une source électrique 22 dont la différence de potentiel varie périodiquement, et engendrent de ce fait un champ électrique qui exerce sur les gouttelettes 15 une force transversale, représentée par la double flèche 23, qui varie périodiquement. Cette force fait dévier horizontalement les gouttelettes hors de la trajectoire 20 du chapelet, de sorte que l'ensemble des trajectoires dessine un éventail 24. Il en résulte que les collisions de gouttelettes en vol sont évitées.

L'installation décrite fonctionne comme suit. L'écoulement au sein du jet 3 délivré par l'ajutage 1 étant laminaire, l'écoulement au sein du jet aminci 10 l'est aussi, puisque aucun organe mécanique n'est entré en contact avec le liquide depuis que celui-ci a quitté l'ajutage. Il n'a été soumis qu'à l'action du champ électrique 7. C'est donc un jet laminaire qui pénètre dans le champ alternatif 12, lequel imprime à l'écoulement des perturbations périodiques, dont l'amplitude, conformément aux expériences de Rayleigh, croît exponentiellement jusqu'au moment où cette amplitude est supérieure au diamètre du jet. C'est ce qui se passe au point 14 à partir duquel le jet est fractionné. La présence en cet endroit de l'électrode auxiliaire 16 fait que les gouttelettes 15 sont chargées et le dispositif de déflexion que constituent les électrodes 18, 19 et la source 22 provoque une déviation transversale qui a pour effet d'écarter les unes des autres les trajectoires des gouttelettes et d'empêcher ces dernières de se heurter en vol. Ce sont donc des sphérules très uniformes et de très petit diamètre que l'on récolte en fin de trajectoire.

Diverses variantes peuvent être imaginées. Ainsi on peut prévoir que l'électrode aval 5 de la première paire et l'électrode amont 8 de la deuxième paire sont confondues en une seule et même pièce. C'est ce que montre la fig. 2 où l'on voit l'électrode commune 25 qui est reliée à la fois à la source de tension continue 6 et à la source alternative 11; cette électrode commune engendre à la fois le champ accélérateur 7, en conjonction avec

558 022

5

6

l'électrode 4 de la première paire, et le champ perturbateur 12, en conjonction avec l'électrode 9 de la deuxième paire.

On peut aussi utiliser l'électrode aval 9 de la deuxième paire d'électrodes en tant que moyen de charge. Il suffit pour cela, comme le montre la fig. 3, de placer cette électrode au droit du point 14 où le chapelet de gouttelettes prend naissance. C'est alors l'influence électrique de cette électrode 9 qui produit la charge des gouttelettes 15 engendrées à cet endroit. Néanmoins cette solution n'est pas toujours utilisable, car d'une part la charge qui est conférée ainsi aux gouttelettes n'est pas très élevée, la tension de l'électrode 9 n'étant pas aussi haute que la tension qu'on peut appliquer à une électrode de charge séparée telle que l'électrode 16 (fig. 1). De plus, la charge des gouttelettes change de signe à chaque alternance de la tension que la source alternative 11 applique à l'électrode 9. Le seul avantage de cette variante est d'être plus simple et, du fait qu'elle supprime le générateur 17, d'être plus économique.

Quant au moyen de déflexion, il peut revêtir la forme que montre la fig. 4. Il comprend une électrode mobile 26, de forme annulaire, qui entoure la trajectoire moyenne 20 du chapelet et qui est attachée mécaniquement à un moyen de déplacement, par exemple un vibreur 27, qui la fait osciller le long d'une horizontale 28 perpendiculaire à la trajectoire moyenne 20, comme le représente la double flèche 29. Cette électrode mobile 26 est connectée à l'un des pôles d'une source de tension continue 30 dont l'autre pôle est connecté à la masse, et le vibreur 27 est alimenté par une source externe, non représentée. Du fait de sa forme annulaire, l'électrode 26 possède un axe de symétrie qui est aussi un axe de symétrie pour le champ qu'elle engendre. Les gouttelettes chargées 15 ont tendance à se déplacer le long de cet axe, de sorte que le déplacement périodique que subit ce dernier sous l'effet de l'oscillation provoquée par le vibreur 27 engendre sur chaque gouttelette une force transversale qui écarte celles-ci de la trajectoire moyenne 20. Il en résulte que, au sortir de l'électrode 26, les gouttelettes 15 décrivent des trajectoires individuelles qui forment un éventail 24 analogue à celui qu'engendre la disposition de la fig. 1 décrite plus haut.

Pour obtenir un bon fractionnement, la fréquence de la source 11 n'est pas indifférente. Rayleigh a montré que la sensibilité d'un jet à des perturbations périodiques était maximale lorsque la «longueur d'onde» de la perturbation, mesurée le long du jet, était égale à 4,5 fois le diamètre de celui-ci. Cela donne cependant des sphérules relativement grandes et relativement distantes les unes des autres. On a avantage, au prix d'une puissance de perturbation un peu plus élevée, à recourir cette «longueur d'onde» et l'expérience a montré que travaillant avec une fréquence correspondant à 2 fois le diamètre du jet, on obtenait d'excellents résultats. Si l'on tente d'augmenter la fréquence au-delà de cette limite, on se heurte très rapidement à l'écueil d'un fractionnement erratique du jet.

Il est évident que le procédé et l'installation qui ont été décrits ci-dessus s'appliquent au cas où le jet est composite, c'est-à-dire formé d'une âme, faite d'un premier produit, entourée d'une gaine, faite d'un second produit, l'un et l'autre étant liquides. On obtient, dans ce cas, des sphérules composites et il suffit pour cela qu'au moins le liquide constituant la gaine du jet soit solidifiable. Les sphérules composites obtenues de la sorte sont formées d'une coquille solide enfermant un noyau solide ou liquide, ce dernier étant encapsulé dans cette coquille. On le voit, le procédé et l'installation permettent de faire de l'encapsulation, les capsules résultantes pouvant atteindre des dimensions très faibles, de l'ordre de 500 microns et moins, tout en conservant une granulométrie pratiquement exempte de dispersion.

Les moyens de charge qui ont été décrits plus haut supposent que le liquide possède une conductivité électrique suffisante. Si ce n'est pas le cas, on peut recourir à une autre solution qui consiste à ioniser une partie du milieu dans lequel se meuvent les gouttelettes. Un moyen simple pour engendrer cette ionisation consiste à

disposer à proximité de la trajectoire décrite par celles-ci une électrode en forme de pointe et à connecter cette pointe à une source électrique dont la tension est suffisamment élevée pour que la pointe soit le siège d'une décharge corona. Les ions ainsi engendrés se répandent au voisinage de cette pointe et un certain nombre d'entre eux se fixent sur les gouttelettes lors du passage de ces dernières au droit de la pointe. Cette variante a été utilisée avec succès pour réaliser la déflexion des gouttelettes d'un chapelet résultant du fractionnement forcé d'un jet de paraffine liquéfiée, gouttelettes qui, après solidification en vol, sont devenues des sphérules de paraffine de 100 microns de diamètre.

Signalons enfin qu'on peut, pour la déflexion, recourir à une seule électrode en lieu et place de la paire d'électrodes 18, 19, par exemple à la seule électrode 19, et connecter celle-ci à l'un des pôles d'une source électrique, telle que la source 22, l'autre pôle de cette source étant connecté à la terre.

REVENDECATIONS

I. Procédé de granulation d'un produit, préalablement mis sous forme liquide, consistant à créer, à partir de ce liquide et dans un milieu propre à en provoquer la solidification, un jet à écoulement laminaire et de section circulaire, à fractionner le jet en un chapelet de gouttelettes et à récolter les sphérules résultant de la solidification des gouttelettes, caractérisé par le fait que l'on amincit le jet en le soumettant à l'action d'un premier champ électrique invariable possédant une composante dirigée selon l'axe du jet, que l'on provoque le fractionnement forcé du jet en le chapelet de gouttelettes en le soumettant à l'action d'un deuxième champ électrique variant périodiquement, et possédant une composante dirigée selon l'axe du jet, que l'on charge électriquement chacune des gouttelettes, et que l'on soumet ces gouttelettes chargées à l'action d'un troisième champ électrique exerçant sur chacune d'elles une force horizontale la faisant dévier perpendiculairement à sa trajectoire initiale, cette force variant d'une gouttelette à la suivante, de manière à empêcher les gouttelettes de se rencontrer en vol.

II. Installation pour la mise en œuvre du procédé selon la revendication I, comprenant un ajutage de section droite circulaire délivrant le produit liquéfié sous la forme d'un jet au sein duquel le liquide est animé d'un écoulement laminaire, le jet jaillissant dans un milieu propre à créer la solidification du liquide, caractérisée par le fait qu'elle comprend, à la suite les uns des autres et en aval de l'ajutage, une première paire d'électrodes connectées aux deux pôles, respectivement, d'une première source de tension, ces électrodes ayant une forme annulaire et étant disposées coaxialement au jet, et la première source ayant une différence de potentiel constante de manière que la première paire d'électrodes engendre un champ électrique axial continu, produisant un amincissement du jet; une deuxième paire d'électrodes connectées aux deux pôles, respectivement, d'une deuxième source de tension, ces électrodes ayant une forme annulaire et étant disposées coaxialement au jet, en aval de la première paire, et la deuxième source de tension ayant une différence de potentiel qui varie périodiquement de manière que la deuxième paire d'électrodes engendre un champ électrique axial périodique produisant un fractionnement du jet aminci en un chapelet de gouttelettes; un moyen de charge conférant à chacune de ces gouttelettes une charge électrique, et un moyen de déflexion électrique comprenant au moins une électrode et une troisième source électrique dont l'un des pôles est relié à cette électrode, cette électrode étant située à proximité de la trajectoire des gouttelettes, dans une position telle que le champ électrique qu'elle engendre exerce sur chacune des gouttelettes une force horizontale perpendiculaire à cette trajectoire, ce moyen de déflexion étant agencé de manière que cette force varie d'une gouttelette à la suivante.

SOUS-REVENDECATIONS

1. Installation selon la revendication II, caractérisée par le fait que l'électrode aval de la première paire d'électrodes et l'électrode amont de la deuxième paire d'électrodes sont confondues en une seule électrode, commune à ces première et deuxième paires.

2. Installation selon la revendication II, caractérisée par le fait que, le liquide étant conducteur, le moyen de charge est constitué par l'électrode aval de la deuxième paire, cette électrode aval étant située à l'endroit où le chapelet de gouttelettes prend naissance, de manière que ces gouttelettes se chargent par influence sous l'effet du deuxième champ au moment où elles se séparent du jet.

3. Installation selon la revendication II, caractérisée par le fait que, le liquide étant isolant, le moyen de charge est un moyen d'ionisation engendrant une ionisation du milieu situé entre la deuxième paire d'électrodes et le moyen de déflexion.

4. Installation selon la revendication II et la sous-revendication 3, caractérisée par le fait que le moyen d'ionisation comprend une électrode auxiliaire en forme de pointe située à proximité de

la trajectoire du chapelet, cette électrode auxiliaire étant reliée à une source électrique auxiliaire dont la tension est choisie de manière que cette pointe soit le siège d'un effet corona engendrant ladite ionisation.

5. Installation selon la revendication II, caractérisée par le fait que le moyen de déflexion comprend une électrode mobile, de forme annulaire, qui entoure la trajectoire du chapelet, et un moyen de déplacement, relié à cette électrode et imprimant à celle-ci une oscillation le long d'une horizontale perpendiculaire à cette trajectoire, et par le fait que la troisième source électrique est une source à différence de potentiel constante, dont l'autre pôle est relié à la masse.

6. Installation selon la revendication II, caractérisée par le fait que le moyen de déflexion comprend une paire d'électrodes immobiles situées de part et d'autre de la trajectoire du chapelet, sur une horizontale perpendiculaire à cette trajectoire, et par le fait que la troisième source électrique est une source à différence de potentiel variable, ces électrodes étant reliées aux deux pôles, respectivement, de cette source.

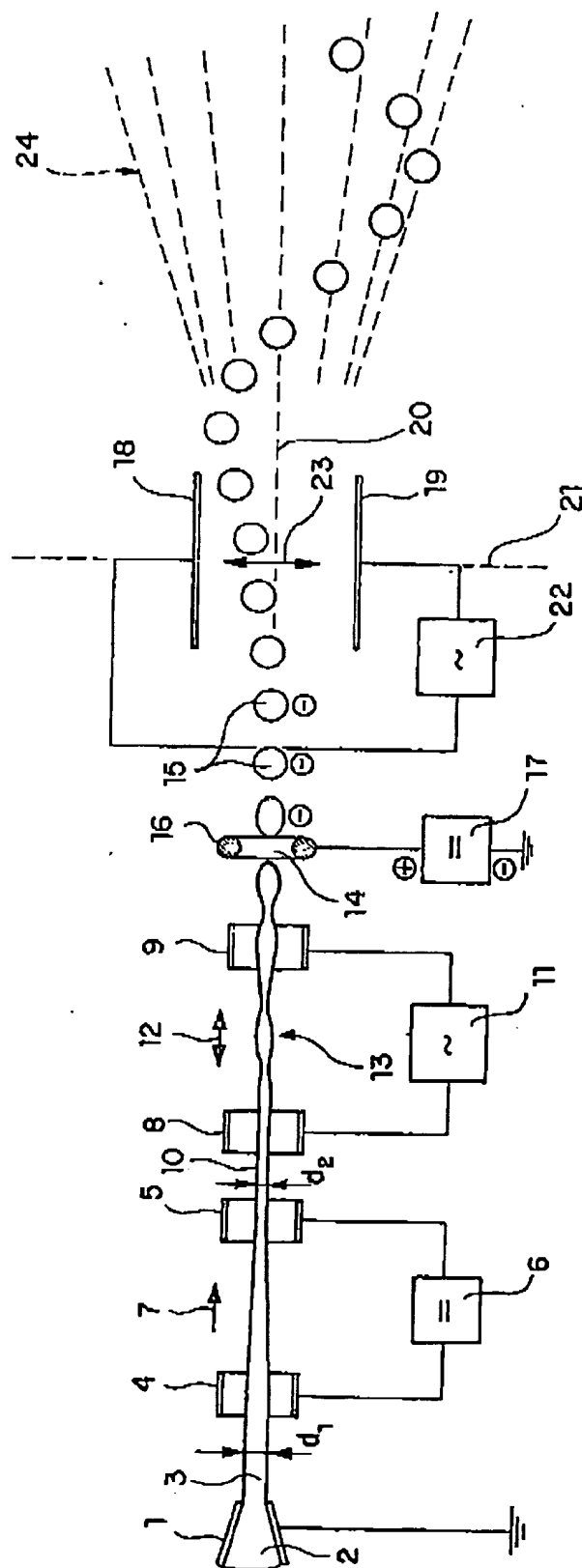


FIG. 7

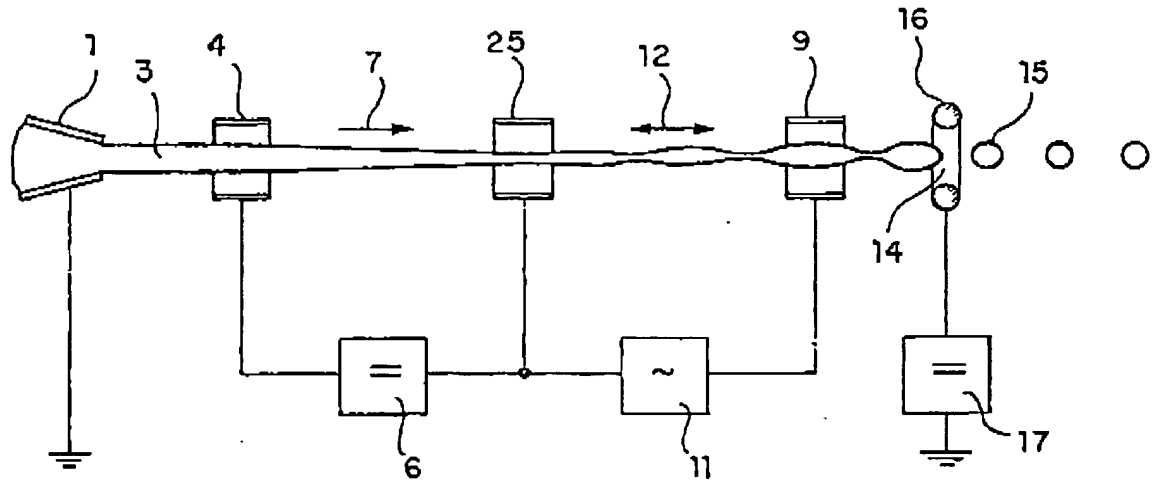


FIG. 2

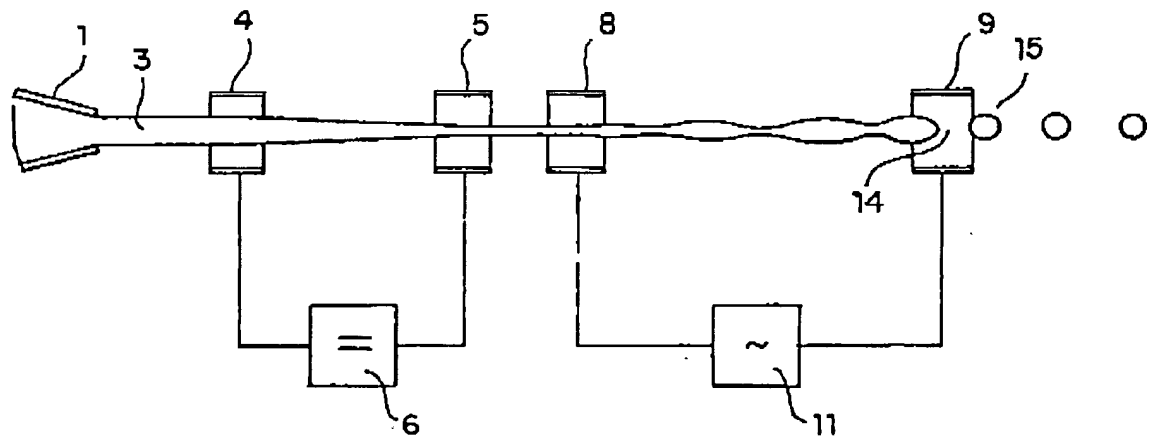


FIG. 3

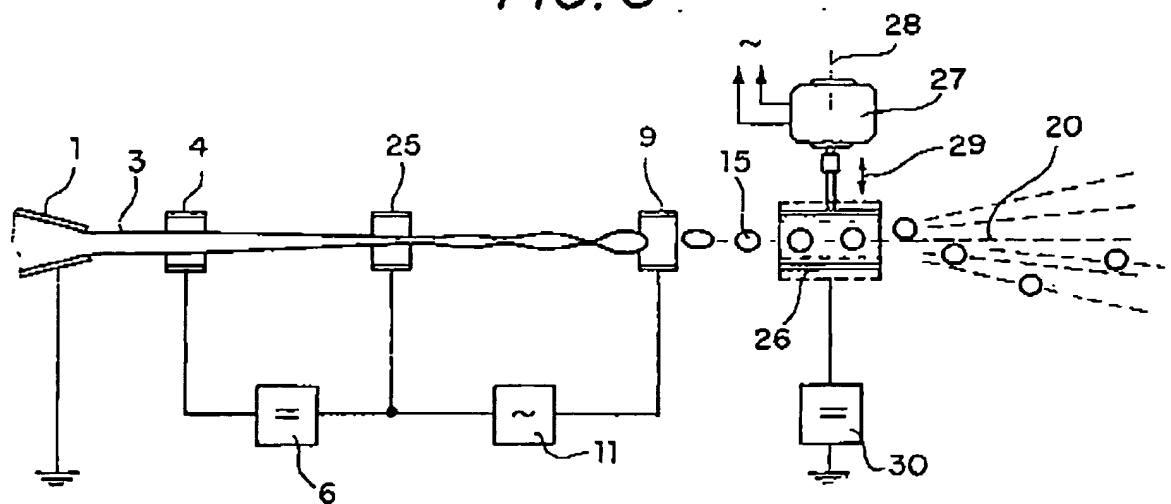


FIG. 4

THIS PAGE BLANK (USPTO)